MICAFIL

Einleitung

Mit den nun mehr als 20 jährigen Erfahrungen mit der Epoxy-Harz-Imprägnierten Durchführung, ist ein markanter technischer Fortschritt auf dem Gebiet der Betriebssicherheit erreicht worden.

Der Einsatz von Silikon bei Durchführungen hat sich in den letzten 10 Jahren bewährt. Speziell bei schwierigen Umweltbedingungen zeigte sich, dass die Silikonoberfläche wesentliche Vorteile gegenüber dem Porzellan bringt. Dies begründed sich im wesentlichen auf die „Hydrophobierung" von Verschmutzungen.

Mit der Einführung von Silikon hat man auch auf sicherheitsrelevanten Gebieten einen wesentlichen Fortschritt erzielt.

Viele europäische Betreiber schreiben in Ihren Spezifikation heute Verbundisolatoren vor. Auch afrikanische und asiatische Betreiber haben begonnen ihre Spezifikationen auf Silikon zu ändern. Der Anteil von Silikonisolatoren beträgt heute etwa 20 % mit steigender Tendenz.

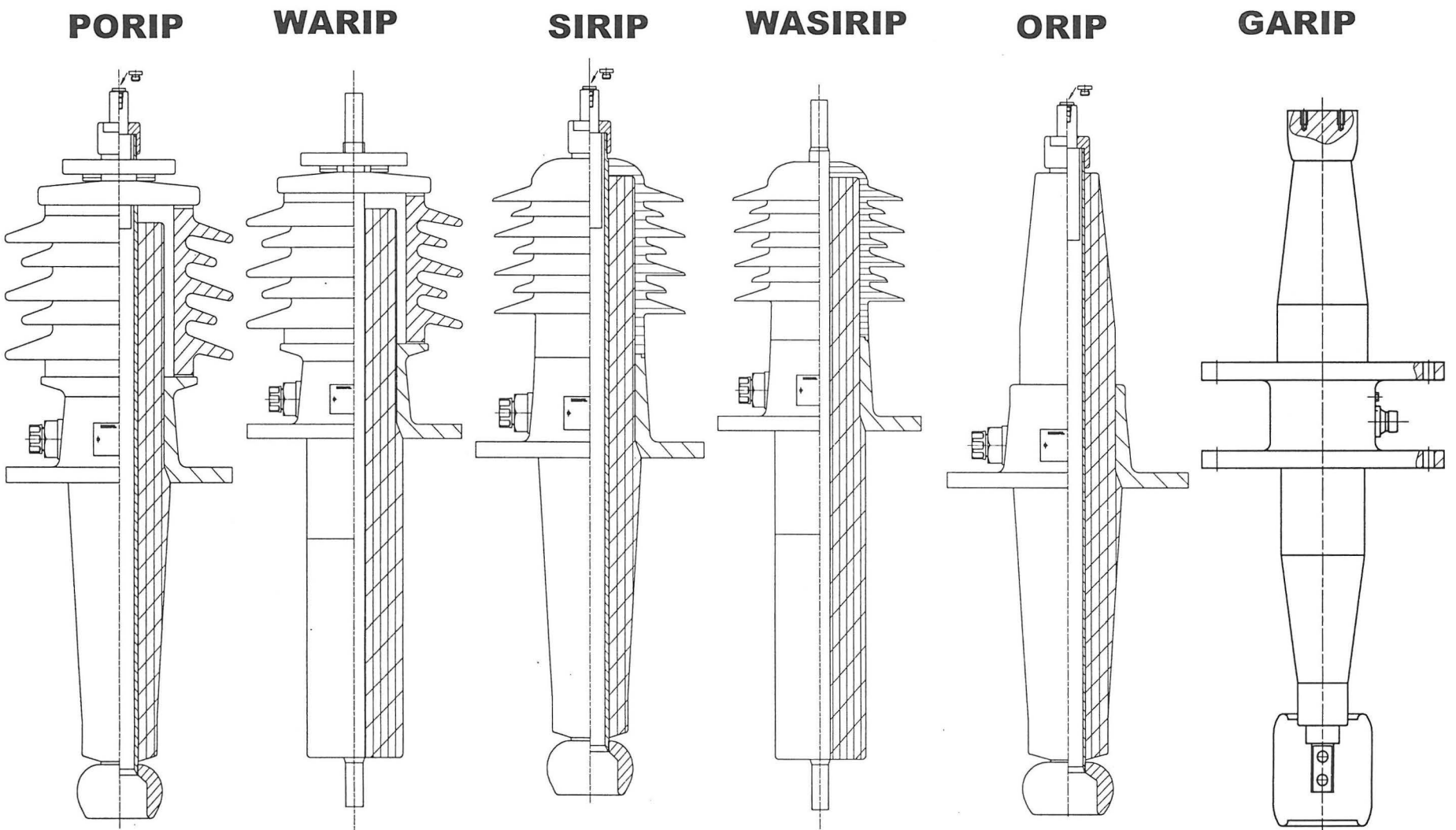
Die Optimierung von technologischen, sicherheitrelevanten, wirtschaftlichen, ökologischen Aspekten wird bei allen unseren Durchführungen der neuen Generation berücksichtigt.

MICAFIL

Neue Standarddurchführungen

- identische Bauteile für verschiedene Anwendungsarten
- geringe Anzahl von Bestandteilen
- einfache und kompakte Bauweise
- kurze Liefertermine
- Bewirtschaftung der Teile über Lager

Concept



Z. Zic 06/2001

MICAFIL

Die neuen Generationen mit Verbundisolatoren

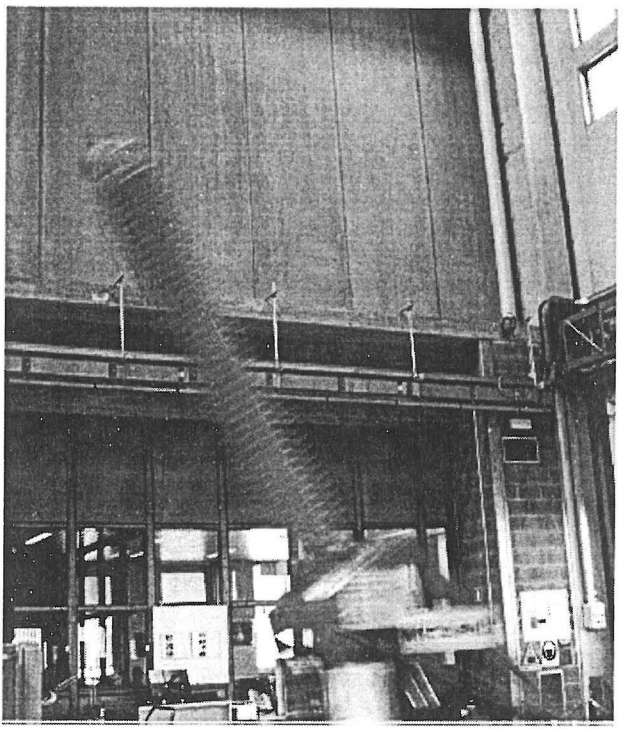
- RWE 350 MVA Transformator
  420 kV Durchführung mit Trockenfüllung und Steckkontakt
  123 kV Durchführung horizontal mit Trockenfüllung und Steckkontakt.

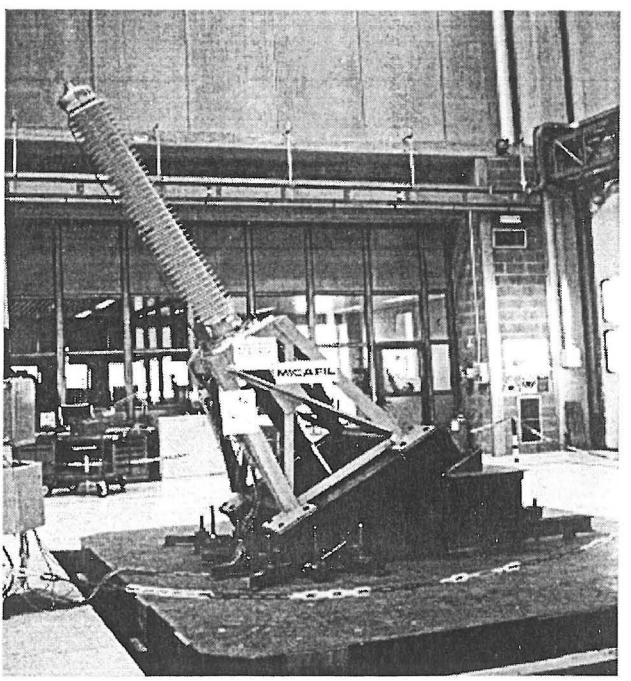
- Schnittbild einer Hochstrom-Durchführung mit Verbund-Isolator und Trockenfüllung

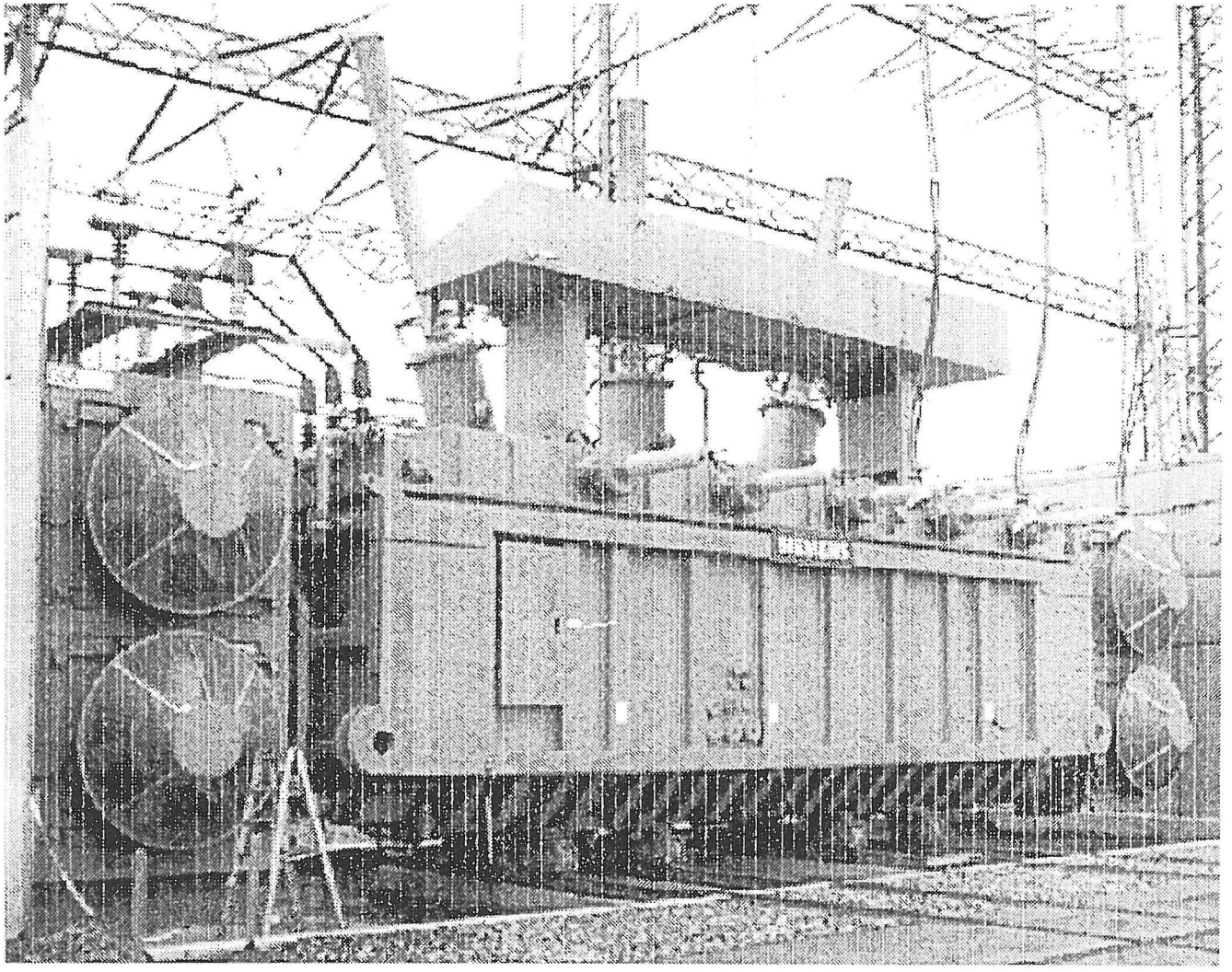
- Konzept einer Wanddurchführung für horizontalen und vertikalen Einbau

MICAFIL

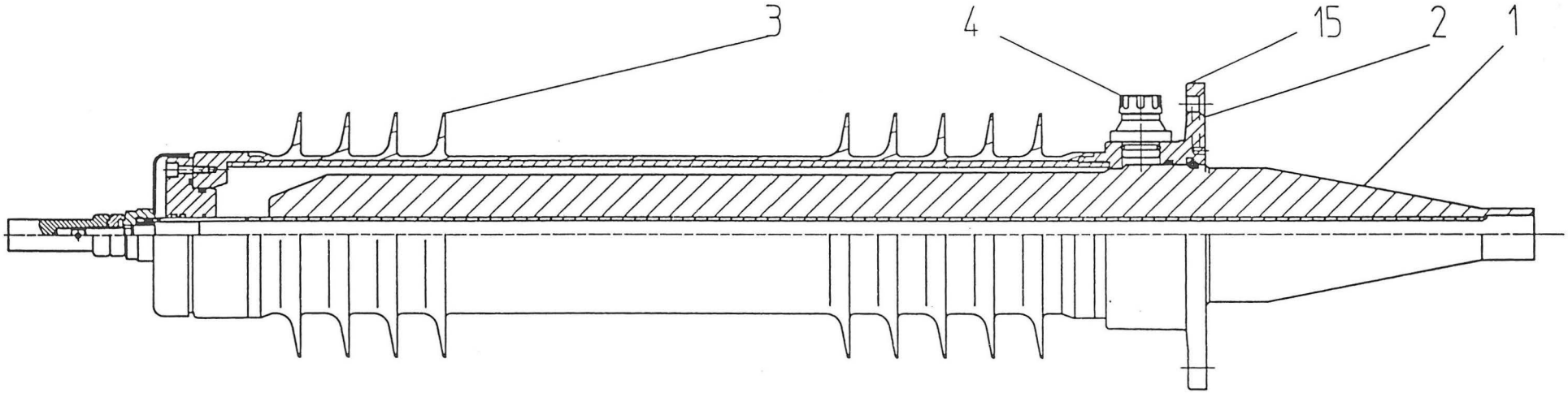
- 245 kV Durchführung für USA, Erdbebenprüfungen

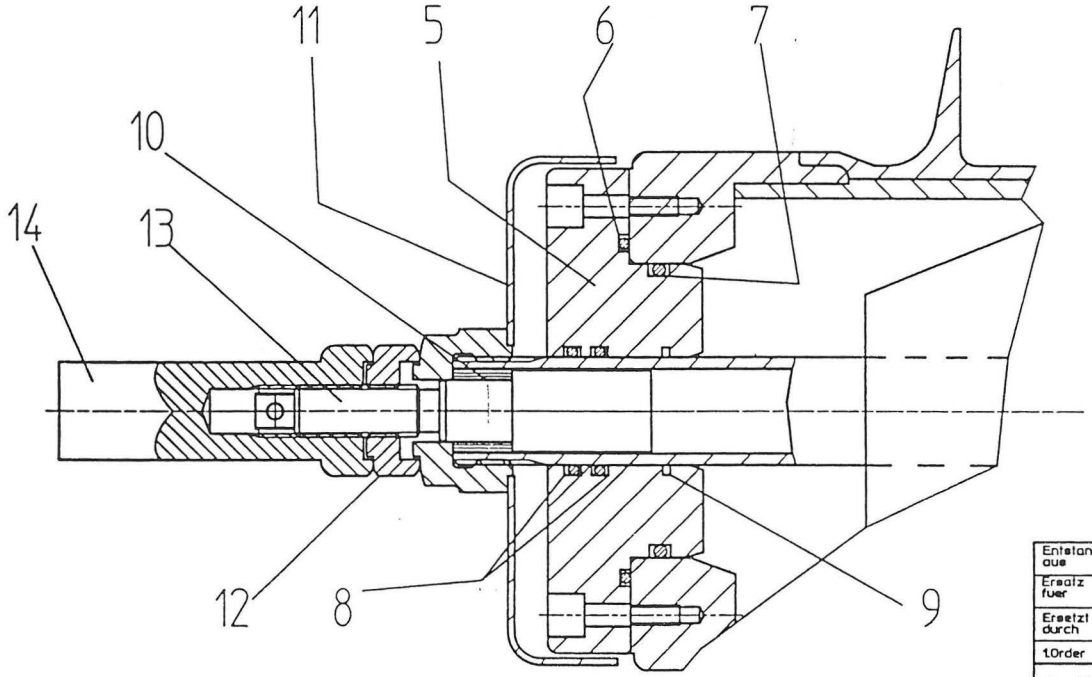






350 MVA Transformator, 380/110 kV, Epoxidharz/Silikonschirm Durchführungen

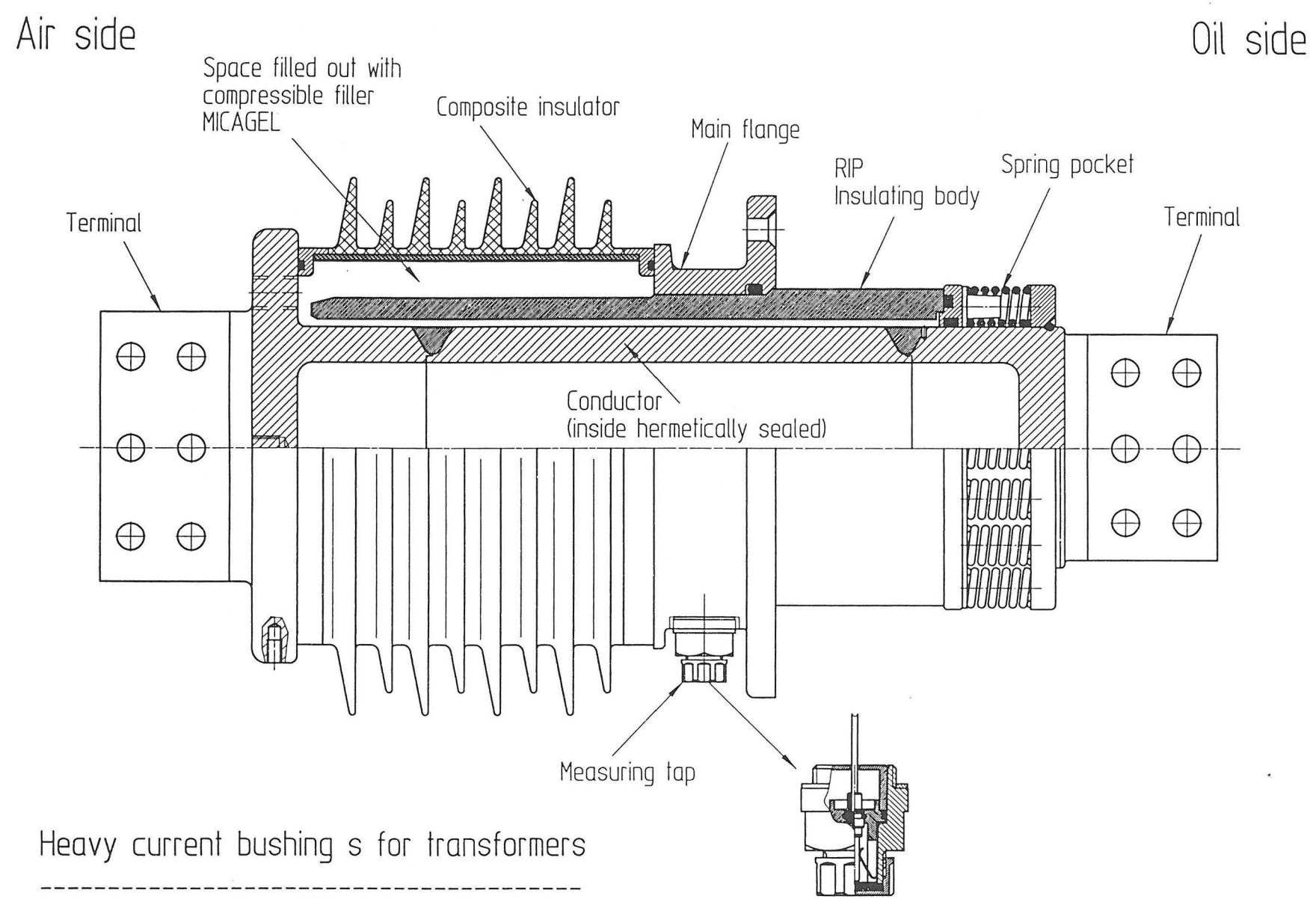




Legende:

1	IKP-RIP
2	Flansch
3	Verbundisolator
4	Messanschluss
5	Deckel
6	O-Ring 99.8x5.34
7	O-Ring 80x5.0
8	O-Ring 33x4.0
9	Potential anleitung
10	Dichtung ø25.5/19x20
11	Kappe
12	Spannmutter
13	Kabelbolzen
14	Anschluss
15	Entlüftungsschr. M12

Entstand aus	HLJ 573903	Massstab	Verwendungs-Zeichnung: HLJM 150003
Ersatz fuer			Gezeichnet: 13.12.99 ATT
Ersetzt durch			Geprueft:
1.Order	84000421		Gesehen:
MICAFIL		Teileart	Typ

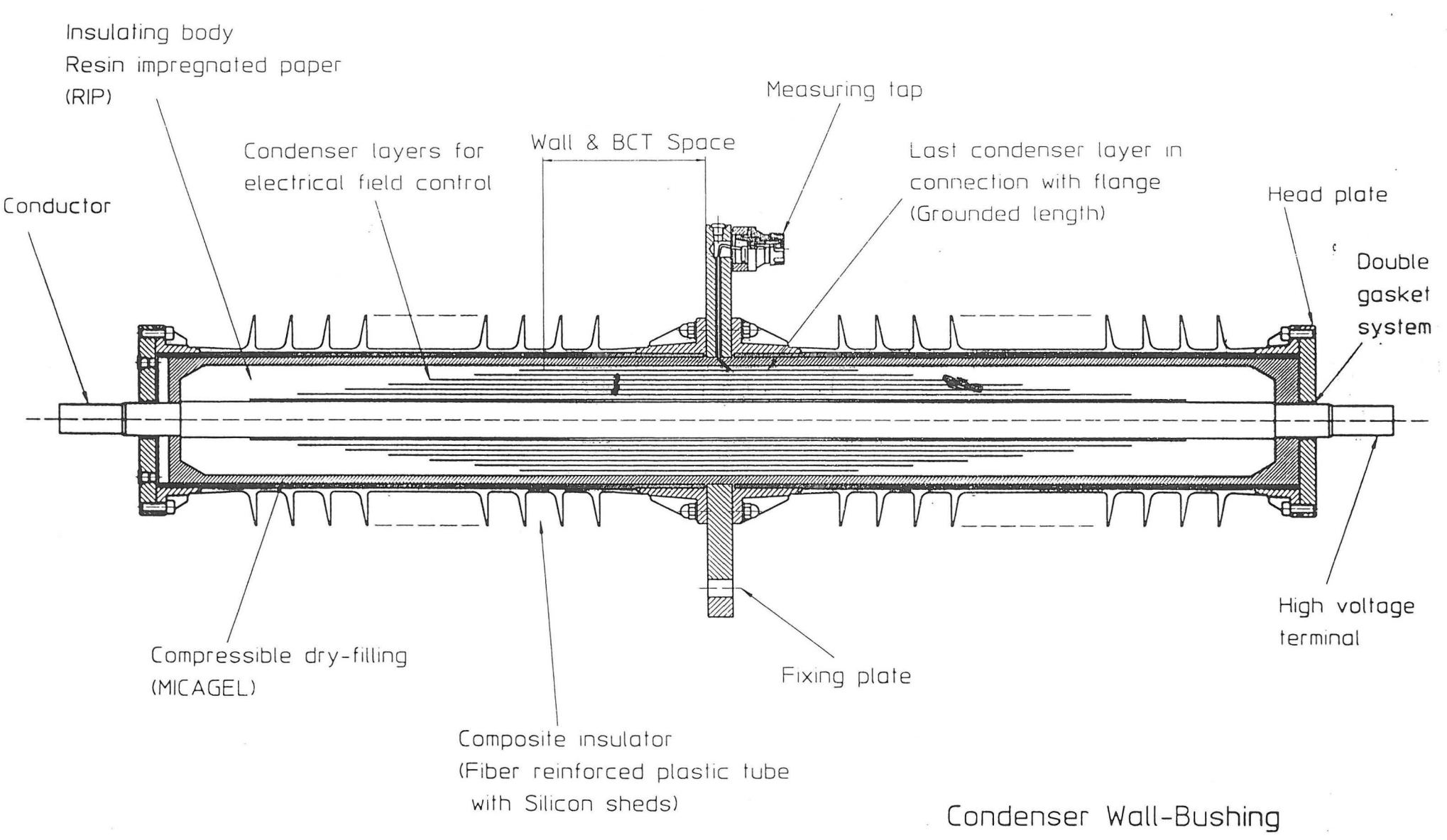


Heavy current bushing s for transformers

- with resin impregnated paper insulating body (RIP)
- with composite insulator
  (reinforced resin tube with silicone sheds)

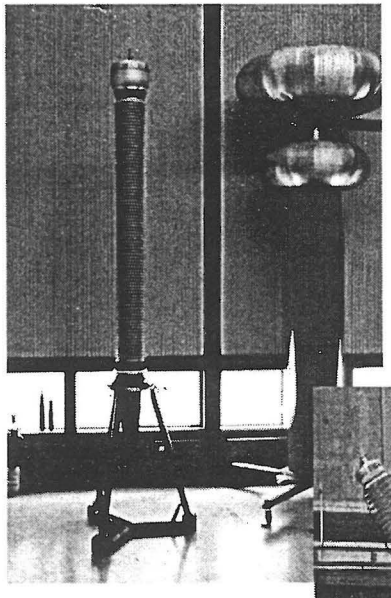
MICAFIL

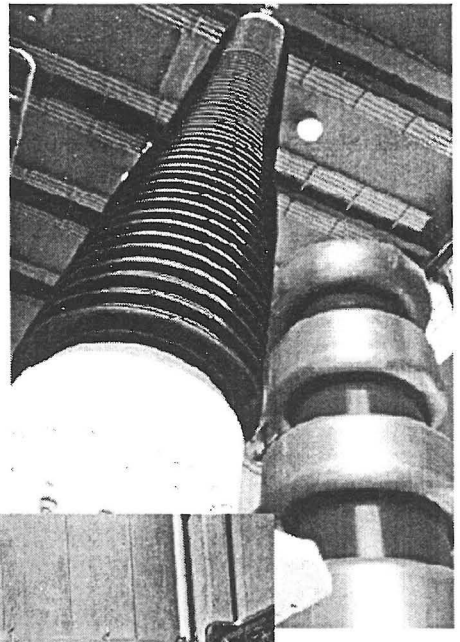
11.Mai.2000 FJa

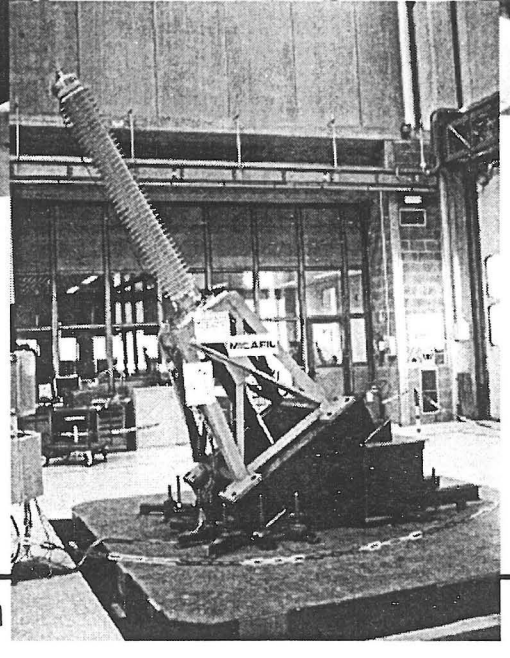


Condenser Wall-Bushing

Our top quality is measurable







- Each of our bushings will be tested before leaving the factory.
- Our internal quality standards completely fulfil and overpass standards like IEC, ANSI, DIN
- Some examples:
  - all bushings must be PD free on double phase-earth voltage
  - lost factor (tan delta) is half the value allowed by IEC Standard

MICAFIL

Die Durchführung eine höchstbeanspruchte Komponente

Arten der Beanspruchungen

- mechanisch
- elektrisch
- thermisch

MICAFIL

2. Arten der Beanspruchung

a) Mechanische Beanspruchung
Zentrale Verspannung und Abdichtung der Durchführung.

Je nach Baureihe und Baugrösse gibt es mehrere verschiedene Arten und Systeme der Verspannung.
Zu berücksichtigen sind:

- alle Ausdehnungs – Koeffizienten der eingesetzten Materialen.

- maximale Temperaturen im Betrieb, mit zu berechnen sind die höchst zulässigen Temperatur im Rohrinneren.

  In Massbildern und technische Notizen schlägt Micafil den Queschnitt der zu wählenden flexiblen Kabel vor.

  Bei Durchführungen für höhere Ströme und eingebauten demontierbaren oder fest eingwickelten Kupferleiter wird der Queschnitt durch Micafil gewählt.

- Grundlagen der Auswahl sind thermische Berechnungen des sogenannten" hot spots", wobei die an vielen Durchführungen ausgeführten Typenprüfungen(Temperature Rise) die Berechnungen bestätigen.

Arten der Verspannung:
- Zentrale Verspannung im Expansionsgefäss mittels Zentraldruckfeder für Betriebströme bis zu 1000 A bei Baureihen bis 1970.

- Zentrale Verspannung im Expansionsgefäss mittels Druckfeder-Paket für Hartpapier - Durchführungen höherer Spannungs- und Stromebene und der Baureihe ab 1975 (U-Reihe)

b) Elektrische Beanspruchung

Es sind folgende Parameter und Kategorien von Beanspruchungen zu berücksichtigen

1. Berechnung des Isolierkörper maximale radiale Beanspruchung ist abhängig vom Isoliersystem

- maximale Längsbeanspruchungen
  Transfomatorenseitig existieren drei verschieden lange Ausführungen und zusätzlich die sogenannte Ausführung n Rücksteuerung

  Freiluftseitig wird mittels Computerprogramm der optimale Erdvorschub am Flansch und die optimale Längs-aussteuerung berrechnet.

2. Auswahl der Porzellanlänge und des Kriechweges des Porzellans oder des Verbundislators.

   Als Grundlage im Standardfall gelten die Berechnungen, aber auch die Typenprüfungen, wo Prüfpannungen bis zu den Überschlagsspannungen gemacht wurden. Hauptverantwortlich für die Auslegung der Fadenlänge ist das Spannungsniveau der Stossbeanspruchungen.

   Kriechweglängen je nach Verschmutzungsgrad sind in der IEC 137 beschrieben.

   Einflüsse sind:
   Länder und Gegenden mit speziellen Verschmutzungsgraden, Meeresnähe, Aufstellungshöhen. Hier gibt es spezielle Spezifikationen mit teilweise überlangen Kriechweganforderungen. Wobei sich bei sehr langen Kriechwegen die Länge des Isolators erhöht

c) Thermische Beanspruchung

Es sind folgende Kriterien zu berücksichtigen

1. Die Durchführung

- Innendurchmesser der Rohröffnung
- Länge und Durchmesser der Hauptisolation
- Kühlung in der Durchführung, bei Grossdurchführungen eventuel Dopplerohr
- Querschnitt des Kabels im Rohrinneren
- Bei höheren Strömen Konfiguration und Durchmesser des Leiters.
- Berrechnungen,thermische Typenprüfungen (Bestimmung des "hot spots").
- Auswahl des Materials, Kupfer oder Aluminium

Thermische Typenprüfungen: Die IEC 137 schreibt die Höhe des Oelspiegels im Rohr vor.

2. Das Isoliersystem

Hartpapier-Isolationen haben in Abhängigkeit der Temperatur eine wesentlich höheres tangens delta Niveau (Hysteresis des Isolationssystems)

3. Betriebsverhältnisse

- Einbaulage
- Aufstellungsland und Ort
- Belastung des Transformators

Zur Berechnung werden gemäss den internationalen Normen die höchsten Temperaturen berücksichtigt.

und dadurch zusätzlich eine neue Berechnung der Aussteuerung des Isolierkörper notwendig ist.

3. Auswahl der geeigneten Kopfkonstruktionen und Radien an den Metallteilen.

4. Auswahl der Mündung oder der Abschirmung am trafoseitigen Ende der Durchführung.

Punkt 3 und 4 werden mittles Feldstärkeprogramm im Computer berechnet und ausgewählt.
Für die Formgebung der Abschirmungen, die Abstände im Dom des Transformators, die Wahl des Kabeldurchmessers, die Isolierung des Kabels hat Micafil technische Vorschriften erarbeitet.

MICAFIL

Service Retrofit Diagnose

Ausgangslage:

Es sind etwa 550'000 Micafil-Durchführungen mit drei verschiedenen Isoliersystemen im Betrieb.

Davon sind ca. 80 % Hartpapier-Durchführungen. Mehr als die Hälfte älter als 25 Jahre.

Periodisch überwacht werden etwa 3000 – 4000 Durchführungen, hauptsächlich höhere Spannungsreihen 245 kV – 735 kV.

Diagnose

Die Lebensdauer und wirtschaftliche Nutzung der Anlagen wird nicht nur durch Ihr Alter bestimmt.

Das Ziel der Überwachung bleibt:

- Risikoreduktion
- Verhinderung katastrophaler Schäden
- Erkennen von Veränderungen
- Einschätzung und Analyse des Ist-Zustandes
- Empfehlungen über die Restlebensdauer
- Planen von Aktionen und erstellen von Austauschprogrammen.

Einflüsse und Bewertung

Für die Bewertung und die Planung von Aktionen ist eine intensive Zusammenarbeit mit den Betreibern unerlässlich.

Zu beachten sind:

- weitere Betriebsdauer des Transformators.
- Geplante Revisionen.
- Nachprüfungen des Transformators im Labor.
- Hartpapier-Durchführungen haben zum Teil sehr hohe Teilentladungswerte. Wenn an alten Transformatoren anlässlich von Revisionen Nachmessungen im Labor gemacht werden, müssen auch die Durchführungen im Labor gemessen werden.

  Die Teilentladungswerte der Durchführungen werden am Transformator mitgemessen und können eine Bewertung des Transformators verunmöglichen.

Zustandserfassung

Dokumentation Micafil aus dem Jahre 1996 für die drei klassischen Isoliersysteme.
Die Erkenntnisse und Bewertungskriterien haben auch heute noch Gültigkeit.
Auf Grund weiterer umfangreicher Erfahrungen aus den letzten Jahren sind einige Anpassungen notwendig.

- Tabelle der Limiten (Durchführungen aus dem Betrieb)

Tangens Delta	245 kV	max 1%
Anstieg Kapazität		max 13 %
Tangens Delta	420 kV	max 0.9 %
Anstieg Kapazität		max 9 %

Neu:

Limiten Hartpapier-Durchführungen mit jahrelanger Lagerung.

Niveau Tangens Delta	max 0.8 %
Anstieg Kapazität	max 3 %

MICAFIL

Klassische Isoliersysteme
für feingesteuerte Kondensator-Durchführungen und deren Eigenschaften

1) Hartpapier-Durchführungen

harzbeschichtetes Material
gewickelt unter sehr hoher Temperatur
in normalen Umgebungskonditionen

a) festes Material
b) bearbeitbar
c) kann als tragendes Bauteil verwendet werden
d) gehört in die Wärmerklassen E
   Dauertemperatur 120 °
e) ca. 25 % des Isolierkörpers besteht aus Luft
f) nicht Teilentladungsfrei
g) Kapazitätsanstieg und Tangens Delta
   Anstieg bei Alterung

TE-Vorschriften nach IEC 137 – 1995
mit Graphitbleägen 1.05 Uy = 100 pC
mit Metallbelägen 1.05 Uy = 300 pC

MICAFIL

Klassische Isoliersysteme

für feingesteuerte
Kondensator-Durchführungen
und deren Eigenschaften

2) Harzimprägnierte Durchführungen

Isolierkörper aus Kreppapier mit eingewickelten Alu-Belägen, in einem Gehäuse nach vorgegebener Prozedur unter Vakuum getrocknet und imprägniert

a) festes Material
b) bearbeitbar
c) kann als tragendes Bauteil verwendet werden, ist oel-und gasdicht
d) gehört in Wärmerklasse E
Dauertemperatur 120 °
e) niedrige dielektrische Verluste, hohe thermische Stabilität
f) Teilentladungsfrei
g) kein Kapazitäts-und Tangens Delta Anstieg bei Alterung

TE-Vorschrift nach IEC 137 –1995
bei 1.05 Uy = 5 pC
bei 1.5 Uy = 10 pC

MICAFIL

Klassische Isoliersysteme
für feingesteuerte Kondensator-Durchführungen und deren Eigenschaften

3) Oelimprägnierte Durchführungen

Isolierkörper aus Kraftpapier mit eingewickelten Alu- oder Graphitbelägen, in einem Gehäuse unter Vakuum getrocknet und oelimgrägniert

a) kein festes Material
b) nicht bearbeitbar
c) Oelspalt zwischen Flansch und Körper, daher Oelsäule vom Fuss bis Kopfpartie
d) gehört in Wärmerklasse A
Dauertemperatur 105 °
e) niedrige dielektrische Verluste, hohe thermische Stabilität
f) Teilentladungsfrei
g) kein Kapazitäts- und Tangens Delta Anstieg bei Alterung

TE-Vorschrift nach IEC 137 – 1995
bei 1.05 Uy = 5 pC
bei 1.5 Uy= 10 pC

MICAFIL

Statistische Auswertung Hartpapier-Durchführungen

Messungen vor Ort (170 – 420 kV)

Baujahr: 1956 – 1970

	Überwachung:	ca. 2000 Stk.	seit 1978
	Ausserbetriebnahme	ca. 350 Stk.	
	Alterungsursachen:		
a)	ca. 40 Stück	Teildurchschläge	
b)	ca. 60 Stk.	Überschreitung Limite tangens delta	
c)	ca. 190 Stk	Überschreitung Limite Kapazität	
d)	ca. 60 Stk.	sonstige (Potentialunterbruch, defekte Messanschlüsse, Erdung, EinflüsseTransformator, Manipulation, usw.)	

Baujahr 1970 – 1980

	Überwachung:	ca. 3000 Stk.	seit 1978
	Ausserbetriebnahme	ca. 300 Stk.	
	Alterungsursachen:		
a)	ca. 80 Stk.	Konzentration Baujahre 1971 - 1974	
b)	ca. 30 Stk.		
c)	ca. 150 Stk.		
d)	ca. 40 Stk.		

Baujahr 1980 – 1990

	Überwachung:	ca. 4000 Stk.	seit Inbetriebsetzung
	Ausserbetriebnahme	ca. 60 Stk.	(bekannt)
	Alterungsursachen:		
a)		ca. 8 Stk.	
b)		ca. 5 Stk.	
c)		ca. 20 Stk.	
d)		ca. 27 Stk.	

MICAFIL

Reserve Hartpapier Durchführungen

Nachmessungen im Labor: **ca. 500 Stk in den letzten 15 Jahren**

Bewertungskriterien: Vorschrift BV-D 123
bereits 1974 erstellt
Limite tangens delta bei 20°C
max. 1 %

Problem bei Feuchtigkeit der Isolation:
sehr hoher tangens delta und Kapazitätsanstieg in Funktion der Temperatur

Auswertung: je nach Lagerungszeit konnten bis zu 50 % konnten nicht mehr eingesetzt werden.
Tangens delta bei 70°C – 90°C grösser 10 %

MICAFIL

Nachmessungen im Labor (170 – 420 kV)

Prüfprogramm: (nach IEC 137 / 1995)
Tangens delta, Kapazität, Teilentladungen
Limite: 100 pC bei 1.05 Uy

Baujahr: 1946 – 1970 **gemessen ca. 1500 Stk.**

Bewertung:			
	weiterer Betrieb verboten	ca. 20 %	
	begrenzte Weiterbetrieb	ca. 20 %	1 – 5 Jahre
	Ersatz vorgeschlagen	ca. 15 %	

Hauptursache: Überschreitung Teilentladungsniveau
Kapazitätsanstieg, Teildurchschläge

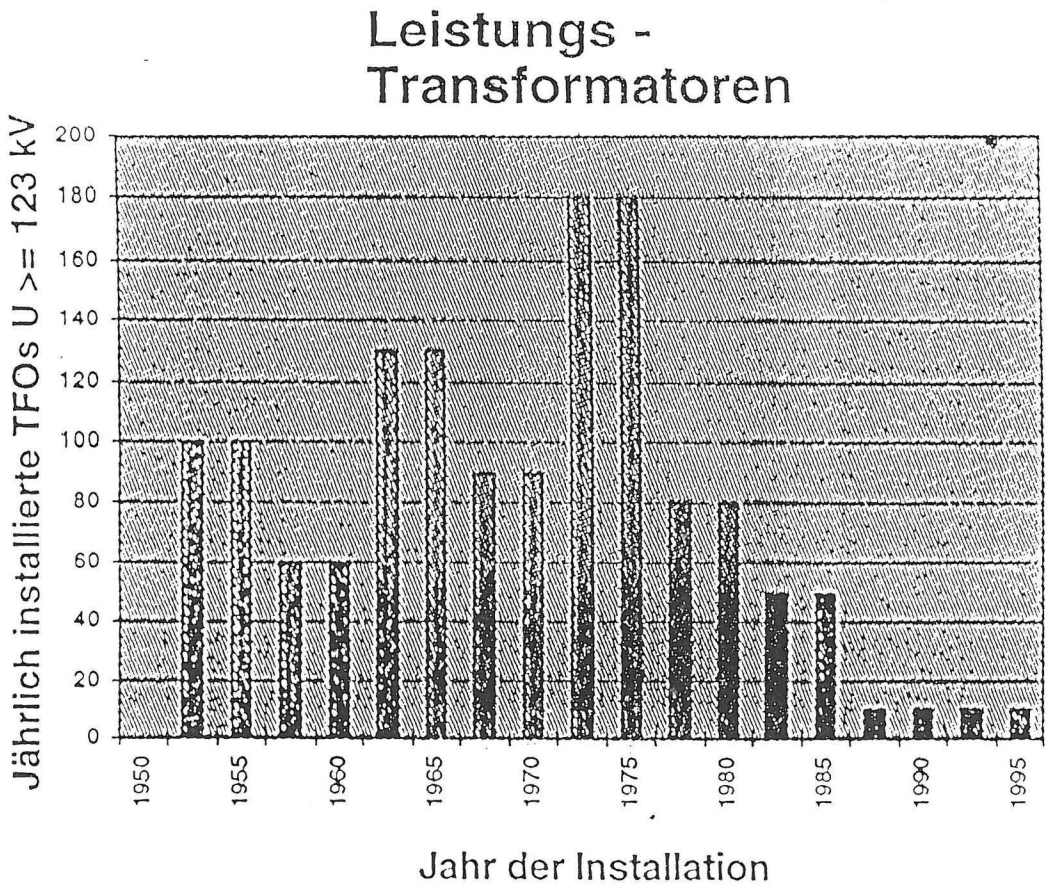
Baujahr: 1970 – 1990 **gemessen ca. 1000 Stk.**

Bewertung:		
	weiterere Betrieb verboten	ca. 5 %
	begrenzter Weiterbetrieb	ca. 10 %
	Ersatz vorgeschlagen	ca. 10 %

Hauptursache: Überschreitung TE-Niveau, Teildurchschläge

MICAFIL

Typischer Status Industrieländer



TFO 60-70 ↗ 70-80 ↘ 80-90 →

MICAFIL

ZUSTANDSERFASSUNG

UND

BEWERTUNG

VON

DURCHFÜHRUNGEN

IM BETRIEB

Verfasser: Karl Widmaier
Leiter Service

EINLEITUNG

Gedanken und Ziel dieses Referates sind:

Durch

- optimalen Unterhalt
- Erkennen des Ist-Zustandes der Durchführung
- Früherkennung von Fehlerquellen
- Richtige Empfehlungen
- Geeignete und zweckmässige Massnahmen

die Betriebszeit der Durchführungen und die Verfügbarkeit der Transformatoren zu steigern.

Um den Isolationszustand richtig zu analysieren und zu diagnostizieren ist ein breites Informationsband nötig.

Umfangreiche Erfahrungswerte sind vor allem von Hauptpapier-Durchführungen vorhanden, wo MICAFIL nun seit 26 Jahren neben den Nachmessungen im Labor auch Vor-Ort-Messungen durchführt.

Weltweit sind aus unserem Hause im Spannungsbereich 24 – 800 kV heute etwa 400'000 Transformator-Durchführungen in Betrieb.

Um eine ständige Weiterentwicklung auf dem Gebiet von

- Konstruktion und Bauweise neuer Durchführungs-Generationen, bei welchen die Erkenntnisse aus dem Betrieb der Hauptpapier-Durchführungen berücksichtigt werden
- neuen Isolationssystemen
- Objekt- und Personenschutz

zu erreichen, sind die Erfahrungswerte aus dem Betrieb sehr wichtig und notwendig.

Die markanten Verbesserungen der Betriebsstatistiken und der Verfügbarkeit lassen die später gezeigten Statistiken erkennen.

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1	**Baureihen von Durchführungen**	4
	1.1. Hartpapier-Durchführungen	4
	1.2. Durchführungen mit ölimprägnierter Isolation	5
	1.3. Harzimprägnierte Durchführungen	6
2	**Diagnostik**	
	2.1. Ziel	8
	2.2. Struktur zur Bewertung	9
	2.3. Kenntnisse des Designs und der Charakteristik der Durchführung	10
	2.4. Lebenserwartung/Alterung	11
	2.5. Verursacher & Merkmale der Alterung	12
	2.6. Messmethoden und Messerfahrung	14
	2.7. Fazit der Ueberwachung	16
	2.8. Statistiken	17
	2.9. Bewertung und Interpretation der Messungen	18
3	**Empfehlungen**	22
4	**Aktionen**	24
5	**Austauschbarkeit**	24

1 *BAUREIHEN VON TRANSFORMATOR-DURCHFÜHRUNGEN*

1.1. *Hartpapier-Durchführungen*

Innere Isolation

Bei Hartpapier handelt es sich bekanntlich um mit Kunstharz beschichtetes Isolierpapier, das unter Hitze und Druck verklebt wird.
Die Markennamen lauten **Superresocel** (Kresolharz) bzw. **Drysomic** (Epoxidharz).

Die Feldsteuerung erfolgt durch halbleitende Kondensatorbeläge, die in radialen Abständen von ca. 0,8 - 1,2 mm angeordnet sind. Durch den Aufbau einer Serieschaltung von Zylinderkondensatoren wird die Feldverteilung in radialer und achsialer Richtung in gewünschter Weise erreicht.
Hartpapier gehört in die Wärmeklasse E (Dauertemperatur 120°C).

Mechanischer Aufbau

Hier gibt es drei Bauarten von Transformator-Durchführungen:

a) **mit Porzellanelementen**
- Flansch heiss auf den Isolierkörper aufgeschrumpft
- Aufbau der Isolatorsäule durch Porzellanelemente. Zwischen den Porzellanen, zwischen Flansch und Porzellan, zwischen Porzellan und Kopfplatte sind Gummi-Kork-Dichtungen angebracht
- Der Porzellanüberwurf wird mittels Federn im Kopf gegen den Flansch verspannt
- Weichgelötete Kopfhaube, in der Regel keine Oelöffnung und keine Oelstandsanzeige am Kopf
- Oelfüllung: Gemischtes Isolieroel mit hoher Viskosität (ca. 1000 cSt/ 20°C)

b) **Mit einteiligem Pozellan-Isolator** (meist grosse Durchführungen)
- Verspannung zwischen Porzellan und Flansch in der Regel durch Klauensystem
- Dichtungssystem: O-Ringe oder Flachdichtungen
- Kopfpartie meist mit Ölstandanzeiger
- Oelfüllung: Transformatoroel

c) **Variante des Füllstoffes**
Anstelle der Oelfüllung wird eine Kompoundfüllung (relative Dielektrizitätskonstante ähnlich wie Oel) vorgesehen, die den Einbau in beliebiger Lage erlaubt. Anwendung meist für Hochstrom-Durchführungen, Mauerdurchführungen und Transformator-Durchführungen mit horizontaler Einbaulage.

1.2. *Durchführungen mit oelimprägnierter Isolation*

Innere Isolation

Der fertig gewickelte Isolierkörper aus reinem Kraftpapier wird nach einer Trocknungsperiode mit Isolieroel niedriger Viskosität unter Vakuum durchimprägniert. In der Regel werden Mineralöle mit einem Inhibitor zur Alterungsbeständigkeit verwendet.
Die Weichpapier-Durchführung benötigt am Unterteil einen dicht abschliessenden Überwurf, der in der Regel aus Porzellan besteht. Das Oel ist hier aktive Isolation.

Weichpapier gehört in die Wärmeklasse A (Dauertemperatur 105°C).

Mechanischer Aufbau

Es gibt haupsächlich drei Bauarten von Durchführungen:

a) Reihe 73 - 300 kV
Aufbau von unten nach oben:

- Fussplatte mit Dichtungen (O-Ring, Flachdichtung)
- Unterteilporzellan mit Dichtungen
- Flansch (zentriert, jedoch lose) mit Dichtungen
- Freiluftseitiger Porzellan mit Dichtungen
- Kopfplatte d.h. untere Schalenhälfte des Expansionsgefässes
- Federpaket im Inneren der Schalenhälfte, d.h. Zentralverspannung aller Dichtungssysteme über das Federsystem
- Oben Schalenhälfte verschweisst am Rohr mit unterer Schalenhälfte
- Oelfüllung Mineralöl Shell Diala D
- Oelschaugläser im Expansionsgefäss

b) **Reihe 300-765 kV**

Im Prinzip wie oben, jedoch freiluftseitiger Porzellan mittels Klauen am Flansch befestigt. Aufbau von unten nach oben:

- Trägerrohr
- Fussplatte mit Dichtungen (O-Ring, Flachstützdichtung)
- Unterteilporzellan (teilweise mit Klauenverspannung zum Flansch) mit Dichtungen
- Flansch mit Dichtungen
- Freiluftseitiger Isolator mit Klauenverspannung zum Flansch verspannt, mit Dichtungen
- Kopfplatte oder untere Haubenhälfte
- Federpaket im Inneren des Expansionsgefässes, d.h. Zentralverspannung aller Dichtungssysteme ausser der Flanschpartie
- Oben Schalenhälfte verschweisst mit unterer Hälfte
- Oelfüllung Mineralöl Shell Diala D
- Ölstandanzeiger im Expansionsgefäss oder Schaugläser

c) **Variante bezüglich Isolatorbefestigung**

Im Prinzip wie b), jedoch Befestigung des Freiluftisolators am Flansch mittels zementierten Kittflansch.

1.3. *Harzimprägnierte Durchführungen*

Innere Isolation

Bei dieser Isolierung wird der aus hochwertigem Kreppapier fertig gewickelte Isolierkörper nach einem Trocknungsprozess unter Vakuum vollständig mit Harz (Epoxidharz spezieller Formulierung) imprägniert. Unter vorgeschriebenen Temperaturzyklen findet die Aushärtung statt.

Die Feldsteuerung geschieht mit Kondensatoreinlagen aus Aluminium-Folien.

Mechanischer Aufbau

Hier wird neben den Transformator-Freiluft-Durchführungen zusätzlich noch die Transformator-SF6-Durchführung für direkten Anschluss an SF6-Anlagen beschrieben.

a) **Baureihe 1975; 24 bis 245 kV**

Aufbau im Prinzip wie die Hartpapier-Durchführungen

- Isolierkörper wird nach Vorgabe mechanisch bearbeitet
- Flansch wird mittels Dichtungen und Klebemittel oeldicht am Isolierkörper befestigt
- Durchführungen mit Messanschluss
- Zwischen Flansch, Porzellanelementen und Kopf verklebte Gummi-Kork-Dichtungen
- Isolieroelmischung mit hoher Viskosität
- Zentralverspannung im Kopf
- Expansionsgefäss am Zentralrohr und an der Kopfplatte weichgelötet

b) **Baureihe 1984: 73 bis 420 kV**

- Isolierkörper für die Befestigung mechanisch bearbeitet
- Flansch mittels O-Ringen, Klebemittel und Ring-verbindungen oeldicht am Isolierkörper befestigt
- alle Durchführung mit Messanschluss
- O-Ring zwischen Flansch und Isolator, Flachdichtung zwischen Isolator und Kopf
- Isolator mit zementierter Kittflansch-Befestigung
- Füllung Shell Diala D oder (auf Kundenwunsch) auch Oel hoher Viskosität
- Federverspannung im Expansionsgefäss
- Ölstandsanzeiger
- Verschlussschraube am Expansionsgefäss
- Doppel-O-Ring-System am Kabelbolzen oder Kupferleiter
- Auf Wunsch Abschirmung am Unterteil oder rückgesteuerte Version

c) **Oel-SF6-Durchführungen 73 - 525 kV**

Im Flansch und der SF6-seitig angeordneten Flanschplatte befindet sich ein ausgereiftes Dichtungssystem.

- SF-6-seitig führt ein Kanal nach aussen, woran vor Ort eine Leckratenmessung gemacht werden kann.

2 *DIAGNOSTIK*

2.1. *Ziel*

- RISIKOREDUKTION
- ERKENNEN VON VERÄNDERUNGEN
- VERHINDERUNG KATASTROPHALER FEHLER
- ANALYSIEREN DES ISOLATIONSZUSTANDES
- EINSCHÄTZUNG DES IST-ZUSTANDES
- ENTSCHEIDUNGSFINDUNG
- EMPFEHLUNGEN
- AKTIONEN

2.2. *Struktur zur Bewertung*

Es ist ein umfassender Kenntnisstand der Durchführungs-Bauweise, der Vorgeschichte, der Struktur und des Alterungsverhaltens des Isoliermaterials, der Betriebsbedingungen, der temporären Dynamiken, der Messmethoden, der externen Beeinflussungen, usw. notwendig.

Daten und Hilfsquellen:

- Originalwerte der Kennwerte Verlustfaktor tgδ und Kapazität sowie des TE-Verhaltens
- Interpretation der Qualität der Neuwerte
- Vergleichswerte aus gleicher Fabrikationsperiode
- Kenntnisse der Charakteristiken der Isoliermaterialien
- Kenntnisse der Bauweise und „Schwächen" des Apparates
- Statistiken und deren Interpretation
- Verstehen von Messdaten
- Kenntnisse der Messmethode
- Erkennen von Trends
- Vergleichsdaten
- Kenntnisse über die Betriebsgeschichte
- Kenntnisse über Vorfälle im Betrieb
- Kenntnisse über die Umweltbedingungen
- Kenntnisse über frühere Manipulationen
- Kenntnisse über Revisionen
- Erfahrungswerte aus Schäden

und nicht zuletzt:

- Informationen über die Zukunft des Transformators

ergeben das

FUNDAMENT

für eine bestmögliche Diagnose,
beziehungsweise Entscheidungsfindung

2.3. *Kenntnisse des Designs und der Charakteristik der Durchführung*

2.3.1 Hartpapier-Durchführungen

a) **Kontaktstellen Isolierkörper**
hochspannungsseitig:
- eingewickelte Alufolie einseitig lackiert
  Potentialverbindung zwischen Rohr und Alufolie, in der Regel durch eingewickeltes Metallbändchen

erdseitig:
- Alufolie in Verbindung mit Stahlband
- Kontaktstelle (Stahlband) von aussen freigelegt und mechanisch verstärkt durch eingelötetes Kupferplättchen
- Messanschluss mit Stift und Feder drückt auf die Kontaktstelle

b) **Isolierkörper**
- Bei ..kf-Typen reichen die halbleitenden Kondensatorbeläge am trafoseitigen Ende bis an die Körperoberfläche
- Luftanteil im Isolierkörper 15-25 Volumen%
  (fein verteilt in der Zellulose und in Schwundrissen)
- Verlustfaktor tgδ neu 0,50 bis 0,70 %
- Anstieg des tgδ in Funktion der Temperatur bis ca. 60 °C gering
- Teilentladungsniveau bei Betriebsspannung:
  Superresocel: bis 150 pC
  Drysomic: < 5 pC

2.3.2. Oel-imprägnierte Isolation

a) **Kontaktstellen Isolierkörper**
- Die Hochspannungsseite der aktiven Isolation bildet das zentrale Trägerrohr, keine zusätzliche Kontaktierung
- mit dem letzten erdseitigen Belag ist ein Kupfer- oder Stahlband für die Kontaktierung eingewickelt
- Freilegen des Kontaktes erfolgt auf der Wickelmaschine
- Die Verbindung zum Messanschluss wird durch ein flexibles, am Isolierkörper weichgelötetes Kabel mit ölfester Isolation hergestellt

b) **Isolation**

- Isolierkörper kompakt, luftfrei und oelimprägniert
- Verlustfaktor tgδ zwischen 0,25 und 0,5 %
- kein Anstieg des tgδ in Funktion der Temperatur bis ca. 70 °C
- Oelqualität des Füllöls: Wassergehalt < 10 ppm
  Durchschlag > 50kV/2,5mm
- Teilentlandungsniveau bis doppelte Betriebsspannung < 5 pC.

2.3.3. Harzimprägnierte Durchführungen (RIP)

a) **Kontaktstellen am Isolierkörper**

- im Hochspannungsbereich
- zwischen Trägerrohr und erster Alufolie durch miteingewickeltes Bändchen oder am Rand von aussen hergestellter Kontakt. Die Verbindung zum Rohr erfolgt mittels einer Litze.
- im erdseitigen Bereich
- Alufolie in Verbindung mit Stahlband
- Kontaktstelle (Stahlband) am fertigen Isolierkörper von aussen freigelegt und mechanisch verstärkt durch eingelötetes Kupferplättchen
- Messanschluss mit Stift und Feder drückt auf die Kontaktstelle oder Verbindung mit angelöteter flexibler Litze

b) **Isolation**

- öl- und gasdichter Feststoff-Isolierkörper
- Verlustfaktor tgδ zwischen 0,25 und 0,45 %
- kein Anstieg des tgδ in Funktion der Temperatur bis ca. 70 °C
- Teilentlandungsniveau bis über doppelte Betriebsspannung < 5 pC

2.4. *Lebenserwartung - Alterung*

Grundsätzlich sind alle festen und flüssigen Isoliersysteme einer gewissen Alterung als Folge der zeitlichen, elektrischen, thermischen und mechanischen Beanspruchungen unterworfen. Als Dimensionierungsbasis für die Lebensdauer werden in der Regel die Betriebsfeldstärken zu Grunde gelegt. Die zulässigen Betriebsfeldstärken variieren je nach Isoliersystem. Es wird von einer Lebensdauer > 30 Jahren ausgegangen.

Die Resultate aus vielen tausend Messungen zeigen:

- Es können schadhafte oder erhöht gealterte Isolationen entdeckt werden
- Durch die Kenntnis des Isolationszustandes kann die Lebensdauer unter Umständen wesentlich verlängert werden.

2.5 *Verursacher und Merkmale der Alterung*

2.5.1 Hartpapier-Isolation

Betriebskomponente:

- hohe Betriebstemperaturen
- häufige Last- und Temperaturschwankungen
- Evakuieren des Trafos mit aufgebauten Durchführungen
- Umweltbeeinflussung wie Korrosionsschäden, Leckagen, Eindringen von Feuchtigkeit oder innere Überschläge
- Überspannungen, äussere Überschläge, Blitzeinschläge

Isolationskomponente:

- Risse durch Temperaturzyklen
- Abbau des Harzes oder des Papiers (Erosion) durch starke Teilentladungen
- Versteuerung der Spannungsverteilung durch ungleichmässigen Anstieg der Kapazitätswerte infolge Eindringen von Öl und der Verdrängung der naturgemäss im Hartpapier vorhandenen Luft (lokale Erhöhung der diel. Konstante). Oel dringt in der Regel durch die entstandenen Risse ein. Die Tränkung des harzbeschichteten Papiers weitet sich von den Rissen beginnend aus.
- Umwandlung des in den Körper eingedrungenen Oels in X-Wachs als Folge starker Teilentladungen
  Eindringen von Feuchtigkeit in die Isolation, Verschlechterung von Potentialverbindungen (Oelfilm bei Feder-kontakten, Risse)
- Die Isolation kann am Trägerrohr oder an den Alubelägen im Erd- und Hochspannungsbereich verrutschen (Schwächung der Klebfestigkeit durch das eingedrungene Oel), dadurch können Unterbrüche an den Potentialverbindungen entstehen
- Erhöhung des Verlustfaktor tgδ in Funktion der Temperatur als Folge der Alterung
- Erhöhung des Verlustfaktor tgδ in Funktion der Temperatur als Folge eingedrungener Feuchtigkeit

Durch höhere dielektrische Verluste wird mehr Eigenwärme erzeugt. Durch weitere Faktoren wie Sonnenbestrahlung oder hohe Temperaturen an den Stromverbindungen steigt dann das Risiko einer thermischen Instabilität, was zum Wärmedurchschlag führen kann.

Mechanische Komponente:
Oelverlust und eingedrungene Feuchtigkeit infolge

- Risse am Porzellan
- Defekte Dichtungen
- Undichte Kopfarmaturen

2.5.2 Oelimprägnierte Isolation

Vom Betrieb her gilt hier ähnliches wie bei der Hartpapier- Isolation, wobei das uneingeschränkte Evakuieren des Transformators mit eingebauten Durchführungen erlaubt ist.

Ein besonderes Augenmerk muss auf hohe oder zu hohe Betriebstemperaturen gelegt werden. Die Oelsäule der Durchführung reicht bis zur Fussplatte im Inneren des Trafos. Durch das zirkulierende Oel wird die Durchschnittstemperatur der Durchführungs-Isolation wesentlich höher als bei trockenen Isolationen, bei welchen die Freiluftseite zur Transformerseite getrennt ist.

Max. zulässige Temperatur: 105 °C

Hier kann auf Untersuchungen über das Alterungsverhalten von oelimprägnierter Isolation in Funktion der Temperatur hingewiesen werden.

Isolationskomponente:

- Teilentladungen in der Isolation z.B. infolge Lufteinschlüsse durch falsche Transport- oder Einbaumanipulationen, welche einen starken Abbau des Isolieroels und Papiers zur Folge hat
- Schmutzablagerungen im Fussbereich (im Bereich hoher Feldstärken)

Mechanische Komponente:

- Eindringen von Feuchtigkeit in die Durchführungen durch äussere Beschädigungen.
  „Verursachte" Undichtigkeiten infolge unsachgemässer Behandlung von Verschlussschrauben z.B. bei häufigen Oelprobennahmen.
- Oelverlust
- mechanische Schäden wie Haarrisse am Unterteilporzellan durch Spannungen und Wärmezyklen

2.5.3 *Harzimprägnierte Durchführungen*

Isolationskomponenten

Bis heute sind keine Erkenntnisse vorhanden, da noch kein Schadenfall aufgetreten ist und noch keine grösseren Untersuchungen stattgefunden haben.

Mechanische Komponente

- Bruch von Porzellan, Eindringen von Feuchtigkeit
- Bei Durchführungen mit Kunststoff-Isolatoren sind Brüche und Risse kaum möglich

2.6. *Messmethoden und Messerfahrungen*

Langzeiterfahrungen über den Zustand einer Isolierung können im Labor nur bedingt gesammelt werden. Durch viele Nachprüfungen im Labor während Reparaturen und Revisionen, auch von bereits vor Ort gemessenen Durchführungen, konnte ein umfangreicher und breit gefächerter Wissensstand aufgebaut werden.

Messmethoden

Es gibt viele Messmethoden. Am besten, bezogen auf die drei Isoliersysteme, sind:

1. *Harzbeschichtete Isolation:*

- Verlustfaktor- und Kapazitätsmessung in regelmässigen Spannungsschritten
- Im Labor zusätzlich Teilentladungsmessungen
- Thermovisuelle Messungen bei Verdacht auf Heissstellen an den Stromverbindungen

2. *Oelimprägnierte Isolation:*
- Verlustfaktor- und Kapazitätsmessungen in regelmässigen Spannungsschritten
- Wassergehaltsbestimmungen des Oels
- Gas-in-Oel-Analysen
- Im Labor zusätzlich Teilentladungsmessungen
- Thermovisuelle Kontrolle

3. *Harzimprägnierte Isolation:*
- Verlustfaktor- und Kapazitätsmessung in regelmässigen Spannungsschritten
- Im Labor zusätzlich Teilentladungsmessungen
- Thermovisuelle Messungen bei Verdacht auf Heissstellen an den Stromverbindungen

Messerfahrung bei Vor-Ort-Messungen
- Mit den heutigen Messmethoden sind Durchführungen aller Isolationssysteme überwachbar
- Die Interpretation bei trockenen Isolationen ist etwas einfacher
- Durch periodische Messungen können Veränderungen, Alterszustand und Lebenserwartung ermittelt werden
- Je breiter die Struktur zur Bewertung (Originalwerte, Vergleichswerte, Temperaturabhängigkeiten usw.), desto präziser ist die Bewertung
- Referenzmessungen im Neuzustand sind eine enorm wichtige Basis. *Man erkennt:* Die Differenzen zwischen Labor- und Feldbedingungen, d.h. die Einflüsse durch die Nachbartrafos, umliegende Leitungen, Abstände gegen Erde und Hochspannung usw.
- Visuelle Kontrollen anlässlich von Feldmessungen bringen zusätzliche wichtige Informationen über den Alterungszustand und sind ein Bestandteil der Bewertung
- Das Notieren aller Daten wie Temperatur (Umgebung und Trafoöl), Transformatoren, Umgebung, Wetter, Abstände, ist sehr wichtig
- Sauberes Reinigen der Isolatoren ist unerlässlich
- bei zu niedrigen Temperaturen (< ca. 12 °C) sollte nicht gemessen werden, da die Oberflächen beim Reinigen schlecht trocknen
- Informationen über Betriebsstillstände, Manipulationen müssen erfragt werden
- auch durchschnittliche Betriebstemperaturen des Transformators sind wichtig.

Messerfahrung bei Nachmessungen im Labor

- Teilentladungswerte bei Hartpapier-Durchführungen sind oft besser als im Neuzustand (Risse füllen sich mit Oel)
- Teilentladungswerte von ausgebauten Durchführungen aus dem Betrieb verschlechtern sich in Funktion mit der Zeit (Oel läuft aus den Rissen)
- Evakuieren von Hartpapier-Durchführungen am Transformator sollte man unterlassen (TE kann sich stark verschlechtern)

2.7. Gesamtergebnisse und Schlussfolgerung der Ueberwachung im Betrieb

Seit Anfang der 70er Jahre mit der Ueberwachung im Betrieb begonnen wurde, haben sich unseres Wissens keine Betriebsausfälle mehr ereignet.

2.7.1 Hartpapier-Durchführungen

Auf Grund der Messungen bzw. visueller Kontrollen anlässlich der Messungen wurde die Ausserbetriebnahme von 32 Hartpapier-Durchführungen verlangt.

- 6 Stück wurden aus mechanischen Gründen ausser Betrieb genommen
- Bei 26 Stück wurde auf Grund hoher tangens δ Kapazitätsanstiegs der Ausbau verlagt
- Bei insgesammt 14 Stück wurde bei den Untersuchungen Teilentladungsdurchschläge festgestellt.

Durch die periodischen Messungen hat man ein für die Betreiber wichtiges und nützliches Bild über den Alterungszustand und über die zu erwartende weitere Betriebsdauer der Durchführungen erhalten. Massnahmen und Aktionen können rechtzeitig geplant werden.

2.7.2 Weichpapier-Durchführungen

Insgesammt musste bei 14 Stück aus unterschiedlichen Gründen die Ausserbetriebnahme verlangt werden.

2.7.3 *Harzimprägnierte Durchführungen*

Werden bei den periodischen Ueberwachung ebenfalls mitgemessen. Bisher mussten auf Grund der Messungen noch kein Ausbau verlangt werden.

Neben der Auswertung der Messresultate und Oelanalysen erhält man ein Bild über den visuellen Ist-Zustand der Durchführungen. Dadurch konnten in mehreren Fällen Folgeschäden verhindert werden.

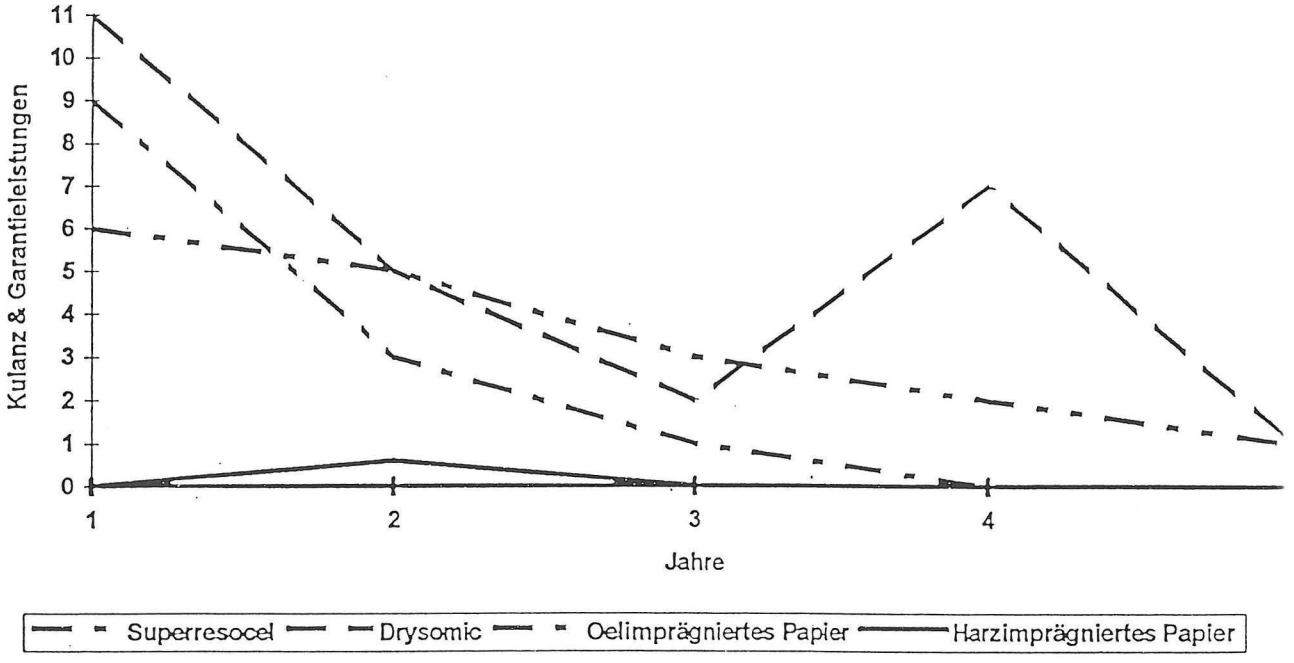
2.8. *Statistiken*

Fabrikationsstatistiken, Lieferstatistiken, Schadensstatistiken sind ein wichtiger Baustein für die Erkenntnisse über die „Ausgereiftheit" des ganzen Apparates zum Zeitpunkt der Lieferung und ein weiteres Hilfsmittel für die Bewertung.

- Die Schadensstatistiken zeigen, dass viele Schäden auf Manipulations-, Handling- oder Ueberwachungsfehler zurückzuführen sind
- Der Anteil solcher Fehler in Mitteleuropa ist um ein Vielfaches geringer als in anderen Ländern
- Dies zeigt auch, wie wichtig verständliche Beschreibungen und Betriebsvorschriften sind
- Diese Statistiken beinhalten auch ein grosses Kompliment an unsere Elektrizitätsgesellschaften und an ihr qualifiziertes Personal

Das nachstehende Diagramm zeicht die ausgezeichnete Verfügbarkeits-statistik der neuen Generationen von Durchführungen im Bezug auf die anderen Isolationssysteme.

Diagramm



2.9. *Bewertung und Interpretation der Messungen*

Die Verlustfaktor tgδ - und Kapazitätsmessungen sollten vor Ort (wie auch im Labor) immer bei regelmässigen Spannungsstufen z.B. 2, 4, 6, 8, 10 kV, durchgeführt werden.
Störspannungen durch Fremdfelder sind zu unterdrücken (moderne Geräte) oder es sind zwei Messungen mit umgekehrter Messpolarität und anschliessender Mittelwertbildung auszuführen.

Beurteilung der Messresultate bei Hartpapier-Durchführungen:

Befund	mögliche Ursache
• tgδ sinkend in Funktion der Spannung	• sehr schlechte Potentialverbindungen • Teildurchschläge
• Kapazität im Vergleich zur Nachbardurchführung stark angestiegen	• Teildurchschläge (Vergleiche Fabrikationsperioden)
• Kapazitätsanstieg	• Oeltränkung
• Hohe tgδ Werte	• Feuchtigkeit und/oder Schmutz aussen (Porzellan nochmals reinigen) • Alterung, Feuchtigkeit in der Isolation • Teildurchschläge
• Hohe tgδ-Werte	• Feuchtigkeit, Alterung, Isolation, Trafoöl , Imprägnierung
• tgδ-Verlauf stark ansteigend mit der Temperatur	• Hohe Feuchtigkeit oder sehr starke Alterung des Materials

Weichpapier-Durchführungen

- Das saubere Reinigen des Porzellans ist hier noch wichtiger als bei Hartpapier-Durchführungen, da die Verlustfaktorwerte niedriger sein müssen
- zur Interpretation sollten möglichst Gas-in Oel-Analysen oder mindestens Wassergehaltsmessungen zugezogen werden

Befund	mögliche Ursache
• tgδ sinkend in Funktion der Spannung	• schlechte Potentialverbindungen
• tgδ hoch	• Feuchtigkeit und/oder Schmutz aussen (Porzellan nochmals reinigen) • Teildurchschläge
• Anstieg der Kapazitätswerte	• Teildurchschläge

Anmerkung:
Bei oelimprägnierten Durchführungen sind Teildurchschläge oft nur mit höheren Messspannungen nachweisbar.

Harzimprägnierte Durchführungen

- auch hier ist eine saubere Reinigung sehr wichtig, da das Niveau des Verlustfaktors niedrig ist
- Referenzmessungen sind sehr wichtig für die Interpretation

Befund	mögliche Ursache
• tgδ mit der Spannung sinkend	• schlechte Potentialverbindungen
• tgδ hoch	• Feuchtigkeit und/oder Schmutz aussen (Porzellan nochmals reinigen) • Teildurchschläge
• Anstieg Kapazitätswerte	• Teildurchschläge

Nachmessungen im Labor

- gewährleisten genauere Beurteilung
- Teilentladungsmessungen sind möglich

Erschwerung:
An vielen Hartpapier-Durchführungen wurde bis weit in die 70er Jahre keine Teilentladungsmessung gemacht, so dass die Beurteilung schwierig ist.

Fehler-Checkliste:

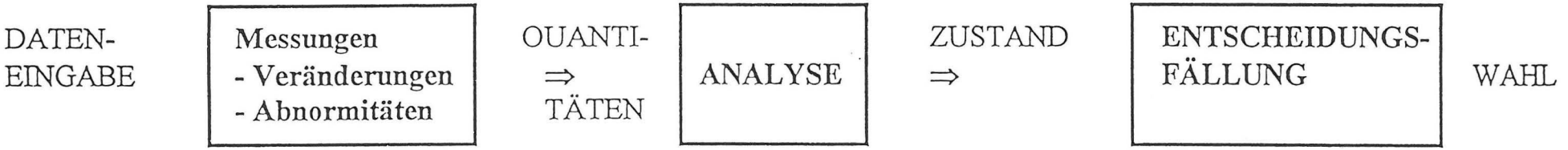
mögliche Ursache: → Befund ↓	Flansch-befesti-gung	Isolier-körper gerutscht	Risse im Isolier-körper	Alterung, Tränkung der Isola-tion	Messanschluss Potential Verbindungen	Lagerung Feuchtig-keit	Teil-durch-schläge	Heiss-stellen	Ver-schmutz-ung aussen
Undicht am Flansch	X	X		X					
Undichte Kopfpartie			X	X				X	
Undichte Dichtungen am Prozellan		X	X	X					
tgδ sinkend mit Spannung				X	X		X		
Niveau tgδ hoch				X		X	X		X
tgδ ansteigend mit der Temperatur				X		X			
Kapazitäts-Anstieg hoch				X			X	X	
Kapazität ansteigend mit der Temperatur				X		X			
äussere Entladungen							X		X

3 *EMPFEHLUNGEN*

Zur Entscheidungsfindung sind vier Strukturgruppen massgebend:

1. Veränderung und Abweichung zum Neuzustand
2. Analyse des Alterungszustandes im Bezug auf die gesetzten Limiten (*siehe Beilage 1*)
3. Zustand der Isolation im Quervergleich (Nachbar-Durchführungen, Durchführungen der gleichen Fabrikationsperiode)
4. Anwenderprioritäten:
   - weitere Betriebsdauer
   - geplante Revisionen

BASISSTRUKTUR



↑

historische Daten
Neuwerte
frühere Werte
Korrekturen
Umwelt

↑

Prioritäten
Anwender
Einschränkungen
Zwänge
Notwendigkeiten

4 *AKTIONEN*

Einflüsse sind:

- Zwänge auf Grund der Entscheidung
- Prioritäten und Pläne des Anwenders

- Einfache Abdichtungen bei Leckagen im eingebauten Zustand oder vor Ort
- Reparaturen, Beheben der Ursache von Leckagen im Werk
- Nachmessungen im Labor
- Ersatz der Isolierkörper unter Wiederverwendung der Armaturen
- Kompletter Ersatz

5 *AUSTAUSCHBARKEIT*

Service der Micafil Isoliertechnik

Für alle gelieferten Durchführungen können Ersatz:

- Trafoseitig 100 % identisch
- freiluftseitig angepasst

geliefert werden.

Beilage 1

Richtwerte für tgδ- und Kapazitätsgrenzen von Transformator-Durchführungen aus Hartpapier

Grenzen erreicht in durchschnittlich 25 Jahren. Gilt nicht für feuchte Isolierkörper!

a) Grenzwert für Verlustfaktor tgδ bei Raumtemperatur

Un (kV)	tg δ (%)
36	2,5
73	2,3
123	2,0
170	1,8
245	1,5
300	1,3
362	1,15
420	1,0

b) Grenzwert für Kapazitätserhöhung ΔC bei Raumtemperatur

Un (kV)	ΔC (%)
36	25
73	23
123	20
170	18
245	15
300	13
362	12
420	10